

気流中の物体から発生する空気力学的騒音の音質改善に関する研究

著者	井上 貴仁, 松本 大樹, 齋當 建一
雑誌名	サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー年報
巻	6
ページ	82-83
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10258/344

気流中の物体から発生する空気力学的騒音の音質改善に関する研究

著者	井上 貴仁, 松本 大樹, 齋當 建一
雑誌名	サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 年報
巻	6
ページ	82-83
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10258/344

気流中の物体から発生する空気力学的騒音の音質改善に関する研究

機械システム工学科 井上貴仁、松本大樹、斉当建一

1 緒言

近年、航空機や鉄道車両、自動車などの輸送機械や産業・電子機器、家電製品または建造物など多岐にわたる分野で騒音が問題となっており、私達の生活において音環境は悪化している。特に、気流によって生じる騒音(空力騒音)では、音源を明確にできないため、その抑制は困難なものになっている。そこで、本研究においては、騒音抑制ではなく音質を変化させることにより、音環境の改善を目指した制御方法を検討していく。このような音質改善へ向けた指標作りを目的として、一様気流中の円柱から発生する空気力学的騒音(エオルス音)について、一対比較法を用いて官能評価試験を行い、空力音の物理量の変化が音質評価に与える影響を検討した。

2 音質評価方法

2.1 一対比較法 一対比較法は、2つの刺激の比較評価から、物理量と感覚量の関係を測る方法である。本試験では、被験者に対し基準となる基準提示音(原音)と、基準提示音を加工した比較提示音を一対にして提示し、基準提示音と比較提示音との比較評価を求めた。得られた結果を因子分析法によって分析し、加工した物理量と感覚量の対応を検討する。

2.2 因子分析法 因子分析は、複数の測定値あるいは心理的特性を数量化した値の間に見られる相関関係から、出来るだけ少ない共通説明変数を見出し、対象の構造的特徴を記述しようとする統計学的手法の一つである。もともと心理学の分野で発達してきた分析手法で、音の評価にも頻繁に用いられる。本研究では主因子法を用いている。

3 実験装置及び試験方法

3.1 実験装置 Fig.1 に実験装置概略図を示す。主流速度は30m/sとした。供試体は、直径 $D=6\text{mm}$ である直円柱を用いた。なお、境界層の影響を抑える黄銅円板(板厚0.3mm×直径35mm)を直円柱に取り付け、両端板から20mmの位置に固定した。

3.2 提示音の作成 官能評価試験における提示音は、実際に発生したエオルス音をPCに録音し、PC上でデジタル処理により加工したものを用いた。Table.1に用いた試験音の詳細を示す。基準提

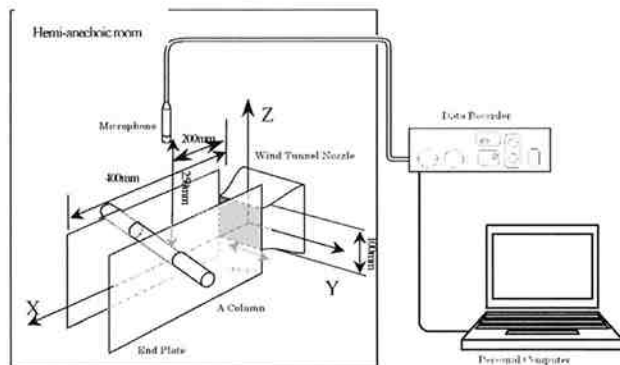


Fig.1 Experimental apparatus

示音として、実際の空力音を録音した原音(OA=57.0[dB], FLAT)を用いる。官能評価は2種類行う。提示音の周波数特性を変えたものを用いた試験Ⅰ、音圧レベルの時間変化を変更した試験Ⅱの2種類である。

3.3 提示音の評価方法 試験Ⅰ(各周波数帯における音圧レベルの変化)と試験Ⅱ(時間における音圧レベルの変化)について、シェッフエの一対比較法(中屋の変法)による実験を個別に行った。被験者として、20歳から33歳までの聴力の正常な男女19名を用いた。

評価試験は、PCから再生した音をヘッドフォンを使用して被験者に聴かせた。評価方法については、試験Ⅰでは基準提示音と比較提示音を2つ続けて提示し(それぞれ5秒間再生)、最初の音(基準提示音)と後の音(比較提示音)を比較して、最初の音に対して後の音がどの程度変化したかを、5つの形容詞対「澄んだー濁った」、「歯切れの良いー歯切れの悪い」、「静かなー騒々しい」、「やわらかいーかたい」、「快いー不快な」について7段階で評価させた。すなわち最初の音に対して後の音が少し澄んだと感じたら+1、非常に澄んだと感じたら+3、変化が無ければ0と評価するように指示した。

試験Ⅱでは比較提示音同士を対(2-1と2-2、2-1と2-3)にして比較させ、提示音2-1を基準提示音として用いて、基準提示音に対してどう変化したかを評価させた。なお提示音はそれぞれ16秒間再生し、記述してある順序で提示した。

この際、試験Ⅰ、試験Ⅱ共に、試験音の視聴の繰り返しを許可したため、最初の音と後の音を入れ替えた場合の順序効果はないものとしてデータ処理する。

Table.1 Contents of processing of examination(I & II) sound

比較提示音	加工内容
I-1A	1kHz を+12dB
I-1B	1kHz を-12dB
I-2A	1kHz を+12dB その他全て-12dB
I-2B	1kHz を-12dB その他全て+12dB
I-3A	1.0, 10.0, 16.0kHz を+12dB その他全て-12dB
I-3B	1.0, 10.0, 16.0kHz を-12dB その他全て+12dB
I-4A	6.3, 10.0, 16.0kHz を+12dB
I-4B	6.3, 10.0, 16.0kHz を-12dB
I-5A	1.0, 6.3, 10.0, 16.0kHz を+12dB
I-5B	1.0, 6.3, 10.0, 16.0kHz を-12dB
I-6	25, 39, 63Hz を+12dB
I-7	99, 158, 250Hz を+12dB
I-8	397, 630Hz, 1.0kHz を+12dB
I-9	1.6, 2.5, 4.0kHz を+12dB
I-10	6.3, 10.0, 16.0kHz を+12dB

2-1	間欠的に騒音 (2秒間隔): フェードイン, フェードアウト使用
2-2	間欠的に騒音 (4秒間隔): フェードイン, フェードアウト使用
2-3	間欠的に騒音 (8秒間隔): フェードイン, フェードアウト使用

Table 2 Factor loading (After rotation)

変数名	因子 No.1	変数名	因子 No.2
静かな-騒々しい	0.11	歯切れの良い-歯切れの悪い	0.16
快い-不快な	0.42	澄んだ-濁った	0.31
遠んだ-濁った	0.94	快い-不快な	0.86
歯切れの良い-歯切れの悪い	0.97	静かな-騒々しい	0.95

4 試験結果及び考察

4.1 試験Ⅰ 抽出因子数は、固有値の累積寄与率が2つの因子で90%を超えたことから2個と定めた。またここで、「やわらかいーかたい」の推定値が他の説明変数に比べ小さいので除外し、再度因子分析を行った。抽出後、バリマックス法により因子回転を行って得られた因子負荷量をTable2に示す。これより因子No.1は、「歯切れが良いー歯切れが悪い」、「澄んだー濁った」の形容詞対の寄与率が大きく、音の美的要素を表していることから、美的因子とした。また因子No.2は、「静かなー騒々しい」、「快いー不快な」の寄与率が大きく、音の迫力的要素を表していることから、迫力的因子とした。

次に、Fig.2に各試験音の因子回転後の因子得点の散布図を示す。横軸の美的因子は値が大きくなるほど美的感覚が増すことを表し、縦軸：迫力的因子は大きくなるほど迫力感が抑えられていることを表す。Table 1とFig.2より、「歯切れ」や「澄んだ」などの形容詞で評価される音と相関の高い周波数帯は主にエオルス音の中心周波数である1kHz付近だと推測される。また「静か」、「快い」などの形容詞で評価される音と相関の高い要素は、全体的な音圧レベルの増減と推測される。

Fig.2中の◇は、「快いー不快な」の項目についての獲得得点が、基準音より快くなったと評価された上位3つ、◆は基準音より不快だと評価された上位3つを示す。これより、快く感じられる音の傾向を見ると、迫力感が小さい、つまりは静かであることが見て取れ、また美的因子の関与はさほど大きくない。また、不快だと感じられる音は、美的因子が小さく、迫力感が大きいという特徴を持つことから、不快感を与える音は、音圧レベルが大きく、かつ濁った感じのある音だと言える。これより音圧レベルが小さく、濁った感じの無い音が最も好まれると考えられる。また、試験音1-6~1-10で、全て「快い」の評価を得ているため、エオルス音を他の周波数帯域の音でマスキングし、不快感を減少させることが可能と推測される。この中で1-8が最も評価が高いことから、エオルス音発生時の1kHz付近に近い周波数帯の音圧レベルの増加がマスキング効果を高めると考えられる。

4.2 試験Ⅱ Fig.3は基準音（提示音2-1：得点0と見なす）に対して、変動の周期を4秒、8秒に設定した音が、各形容詞対でどのような評価を得たかを示すプロファイルである。

各形容詞対の評価を見ると、「歯切れの良いー歯切れの悪い」で、提示音2-2、2-3共に評価が悪くなっている。これから強弱の変動周期が短い音は歯切れが良いと評価されていることがわかる。また「やわらかいーかたい」では共に評価が良くなっており、周期が長いとやわらかいイメージを与えられられる。

また、最も音の好みを表す形容詞対「快いー不快な」について見ると、間欠的な強弱は2秒周期よりも4秒周期の方が好まれ、反対に8秒周期まで長くなると不快感を与えているという結果となった。また、「静かなー騒々しい」でも獲得得点に同様の傾向が見られることから、8秒周期だと音の発生している時間が長くなり、騒々しさを与えてしまうのだと推測できる。

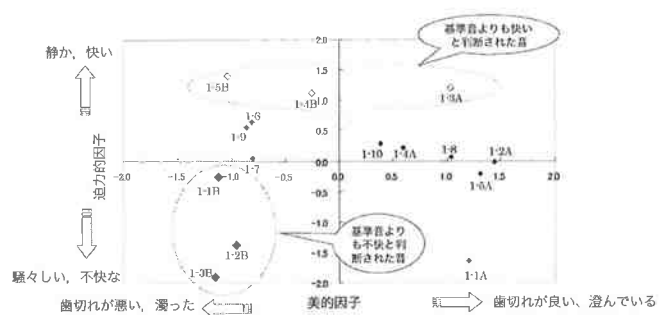


Fig.2 Scattered chart of factor score (Examination I)

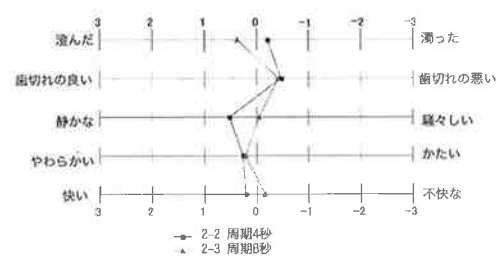


Fig.3 Profile of examination II

5 結言

- 因子分析の結果、試験Ⅰで扱った音からは2つの因子が抽出され、美的因子、迫力的因子とした。
- 1kHzにピークを持つエオルス音の物理量の変化と官能評価との関連として以下の事が明らかとなった。
 - ・1kHz付近の周波数帯の音圧レベルの増減→「歯切れ」、「澄んだ」などの形容詞で評価される音、つまり美的因子と相関の高い要素である。
 - ・音圧レベルの増減→「静か」、「快い」などの形容詞で評価される音、つまり迫力的因子と相関の高い要素である。
- 快、不快の獲得点数から、より心地よい音という事をまとめると以下ようになる。
 - ・快 迫力感が小さい、つまりは静かであること。美的因子の関与は迫力的因子ほどではない。
 - ・不快 美感が小さく、迫力感が大きいという事が挙げられる。つまり、音圧レベルが大きく、かつ濁った感じである音が最も不快感を与える。
- 時間的な音圧レベルの変動について
 - ・歯切れの良し悪しと関連が大きく、周期が短い音は歯切れが良い音と評価される。また形容詞対、「やわらかいーかたい」とも関連があり、変動周期が長いとやわらかいイメージを与える。
 - ・形容詞対、「快いー不快な」、「静かなー騒々しい」から判断すると、今回用いた騒音に限れば、変動感が人に与える影響として最も好ましいものは、変動周期4秒である結果が得られた。

参考文献

- (1) 芝祐順, 因子分析法 第2版, 東京大学出版会, 1979
- (2) 望月修他, 流体音工学入門, 朝倉書店, 1996